

Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum

Verfahren nach E. Zwicker

DIN
45 631

Procedure for calculating loudness level and loudness
Méthode de calcul du niveau d'isophonie et de la sonie

Ersatz für Ausgabe 10.67x

Zusammenhang mit der Internationalen Norm ISO 532:1975, siehe Erläuterungen.

1 Anwendungsbereich und Zweck

In dieser Norm wird ein Verfahren beschrieben, mit dem aus objektiven Meßwerten ein Maß für den Lautstärkepegel und die Lautheit gewonnen werden kann. Die Ergebnisse entsprechen nahezu dem in DIN 1318 definierten Lautstärkepegel. Das Verfahren gestattet es, verschiedene stationäre Geräusche in die Rangfolge ihrer subjektiv wahrgenommenen Lautstärke einzuordnen. Das Berechnungsverfahren wird vorzugsweise bei der Klärung grundsätzlicher Fragen angewendet. Insbesondere technische Geräuscherzeuger und Immissionen werden im allgemeinen nach anderen Maßstäben beurteilt, die in besonderen Normen festgelegt sind (siehe zum Beispiel Normen der Reihe DIN 45 635, DIN 45 645 Teil 1 und DIN 45 645 Teil 2).

Das in dieser Norm angegebene Verfahren nach E. Zwicker dient zur Berechnung des Lautstärkepegels aus dem Terzpegel-Diagramm ($\frac{1}{3}$ -Oktavpegel-Diagramm) und ist auch auf Schallvorgänge anwendbar, in deren Spektrum einzelne Töne oder bestimmte Frequenzgebiete aus ihrer spektralen Umgebung deutlich hervorragen.

2 Beschreibung des Verfahrens

2.1 Die Terzpegel werden mit einem Schallpegelmessers nach DIN IEC 651 oder einem integrierenden mittelwertbildenden Schallpegelmessers nach DIN IEC 804 in Verbindung mit Terzfiltern nach DIN 45 652 bestimmt; Geräte zur Darstellung des Terzspektrums oder des Lautheits-Tonheits-Musters in Echtzeit müssen in ihren relevanten Eigenschaften den genannten Normen entsprechen.

Die Terzpegel werden nach Abschnitt 4 in eines der Diagramme nach Bild 2 bis 11 eingetragen und zu einem zusammenhängenden Kurvenzug, der Lautheitsverteilung, verbunden. Die Fläche, die von der Lautheitsverteilung, der Abszissenachse und den Endordinaten des Diagramms begrenzt ist, entspricht der Lautheit (siehe DIN 45 630 Teil 1). Aus der Höhe der flächengleichen, rechteckigen Diagrammfläche kann man an der Skale rechts im Diagramm die Lautheit ablesen; ferner sind zwei Skalen für den Lautstärkepegel angebracht.

2.2 Die Diagramme F1 bis F5 (siehe Bild 2 bis 6) sind für die Bestimmung des Lautstärkepegels bei frontalem Schalleinfall, die Diagramme D1 bis D5 (siehe Bild 7 bis 11) für die Bestimmung im diffusen Feld vorgesehen. Je nach den vorliegenden Verhältnissen ist das Schallfeld der einen oder anderen Feldart zuzurechnen (siehe Erläuterungen).

Jedes Diagramm gilt für einen bestimmten Lautstärkepegelbereich.

2.3 Das hier und in den folgenden Abschnitten beschriebene Verfahren kann vorteilhaft mit einem Rechenprogramm (siehe Anhang A) ausgeführt werden.

3 Größen und Benennungen

3.1 Terzpegel L_T , Frequenzgruppenpegel L_G

Der Schalldruckpegel in einem Frequenzband von der Breite einer Dritteloktave wird Terzpegel L_T genannt, derjenige in einer Frequenzgruppe Frequenzgruppenpegel L_G .

3.2 Frequenzgruppe

Oberhalb der Frequenz 280 Hz werden die Frequenzgruppen durch Terzbänder, unterhalb von 280 Hz durch Zusammenfassen von mehreren Terzbändern angenähert (siehe Abschnitt 4).

Anmerkung: Das Verfahren nach E. Zwicker basiert auf Frequenzgruppen (siehe Schrifttum). Aus praktischen Gründen werden jedoch als Näherung Terzbänder bzw. die Zusammenfassung von solchen benutzt.

3.3 Berechneter Lautstärkepegel L_{NG}

Der Lautstärkepegel im Sinne dieser Norm ist der berechnete Lautstärkepegel. Der berechnete Lautstärkepegel L_{NG} wird als L_{NGF} in phon (GF) oder als L_{NGD} in phon (GD) angegeben. Die Buchstaben GF und GD weisen darauf hin, daß die Berechnung auf den Frequenzgruppen (G) beruht und für frontalen Einfall (F) oder für diffuses Feld (D) gilt.

3.4 Berechnete Lautheit N_G

Die Lautheit im Sinne dieser Norm ist die berechnete Lautheit. Nach DIN 45 630 Teil 1 besteht zwischen der Lautheit N in sone und dem Lautstärkepegel L_N in phon in einem eingeschränkten Bereich die Beziehung

$$N = 2^{0,1(L_N - 40)} \text{ für } L_N \geq 40 \text{ phon} \quad (1)$$

oder

$$L_N = 40 + 33,22 \lg N \text{ für } N \geq 1 \text{ sone} \quad (2)$$

Die Beziehung zwischen der Lautheit und dem Lautstärkepegel wird im Rechenprogramm in einem erweiterten Bereich zwischen 3 phon und 140 phon, entsprechend

Fortsetzung Seite 2 bis 27

Normenausschuß Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI

Tabelle 1. Bewertung der Terzpegel L_T für Mittenfrequenzen f_T unter 250 Hz; Abzüge ΔL in dB

Bereich	f_T/Hz $L_T + \Delta L$	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
I	$\leq 45 \text{ dB}$	-32	-24	-16	-10	-5	0	-7	-3	0	-2	0
II	$\leq 55 \text{ dB}$	-29	-22	-15	-10	-4	0	-7	-2	0	-2	0
III	$\leq 65 \text{ dB}$	-27	-19	-14	-9	-4	0	-6	-2	0	-2	0
IV	$\leq 71 \text{ dB}$	-25	-17	-12	-9	-3	0	-5	-2	0	-2	0
V	$\leq 80 \text{ dB}$	-23	-16	-11	-7	-3	0	-4	-1	0	-1	0
VI	$\leq 90 \text{ dB}$	-20	-14	-10	-6	-3	0	-4	-1	0	-1	0
VII	$\leq 100 \text{ dB}$	-18	-12	-9	-6	-2	0	-3	-1	0	-1	0
VIII	$\leq 120 \text{ dB}$	-15	-10	-8	-4	-2	0	-3	-1	0	-1	0

0 sone und 1024 sone bei einer Genauigkeit besser ± 1 phon angewendet. Dabei gilt für $N < 1$ sone die Beziehung

$$L_N = 40 (N + 0,0005)^{0,35} \quad (3)$$

Man gibt die erhaltene Lautheit in sone (GF) oder in sone (GD) an. Der Übergang auf die Lautheiten ermöglicht die einfache Addition der Teillautheiten in den einzelnen Frequenzgruppen, die hier auf graphischem Wege oder über Rechenprogramme durchgeführt wird.

4 Durchführung der Berechnung

Das Verfahren zur Berechnung des Lautstärkepegels setzt sich aus drei Schritten zusammen:

Schritt 1: Jedes Diagramm enthält senkrecht nebeneinanderstehende Leitern für die Terzpegel L_T in dB. Man wähle ein Diagramm aus, das dem betreffenden Schallfeld entspricht und das den höchsten Terzpegel gerade noch enthält, der im Spektrum vorkommt. Oberhalb von 280 Hz zeichne man die gemessenen Terzpegel als waagerechte Linien in das ausgewählte Diagrammfeld ein. Die Zahlen auf der Abszisse entsprechen den Grenzfrequenzen der Terzbänder, die oberen Zahlen den Mittenfrequenzen in Hz bzw. kHz. Da die Frequenzgruppen im unteren Frequenzbereich breiter sind als ein Terzband, ist es notwendig, die gemessenen und nach Tabelle 1 bewerteten Terzpegel zu Frequenzgruppenpegeln L_{G1} , L_{G2} , L_{G3} zusammenzufassen.

Vorder Zusammenfassung der Terzpegel ist eine Bewertung in Anlehnung an die Kurven gleicher Lautstärke nötig. Sie wirkt sich insbesondere dann aus, wenn das Geräusch starke Komponenten unter 250 Hz enthält. Die Bewertung wird durchgeführt, indem die in Tabelle 1 angegebenen Abzüge ΔL bei den entsprechenden Terzpegeln angebracht werden. Beträgt beispielsweise bei $f_T = 40 \text{ Hz}$ $L_T = 78 \text{ dB}$, so ergibt sich:

im Bereich I: $L_T + \Delta L = (78 - 16) \text{ dB} = 62 \text{ dB} > 45 \text{ dB}$,
im Bereich II: $L_T + \Delta L = (78 - 15) \text{ dB} = 63 \text{ dB} > 55 \text{ dB}$,
im Bereich III: $L_T + \Delta L = (78 - 14) \text{ dB} = 64 \text{ dB} < 65 \text{ dB}$.

Mithin ist $L_{TREW} = 64 \text{ dB}$. Auf diese Weise entstehen die bewerteten Terzpegel L_{TBew} . Die bewerteten Terzpegel werden zu den folgenden drei Frequenzgruppenpegeln zusammengefaßt:

L_{G1} : Alle bewerteten Terzpegel der Mittenfrequenzen von 25 bis 80 Hz

L_{G2} : Drei bewertete Terzpegel der Mittenfrequenzen von 100 bis 160 Hz

L_{G3} : Zwei bewertete Terzpegel der Mittenfrequenzen von 200 und 250 Hz

Man zeichne die zusammengefaßten Pegel L_{G1} , L_{G2} und L_{G3} als waagerechte Linie in die entsprechenden Frequenzgruppen des Diagramms ein.

Schritt 2: Terzpegel, die im Diagramm mit zunehmender Frequenz ansteigen, werden durch senkrechte Linien verbunden, so daß eine Treppenkurve entsteht. Wenn der Pegel im Diagramm für das nächsthöhere Frequenzband niedriger ist, wird die Verbindung durch eine abfallende Linie hergestellt, die parallel zu den gestrichelt gezeichneten, fallenden Linien des Diagramms verläuft. Die nach rechts abfallende Linie wird bis zum Schnitt mit einem der folgenden Terzpegel bzw. mit der entsprechenden senkrechten Linie heruntergezogen, wie dies in Bild 1 dargestellt ist. Unter der Lautheitsverteilung liegende Terzpegel können dadurch teilweise oder ganz verdeckt sein. Die Fläche, die unter der eingezeichneten Lautheitsverteilung liegt, entspricht der Gesamtlautheit.

Schritt 3: Die Fläche wird in ein flächengleiches Rechteck umgewandelt, das die Breite des Diagramms zur Grundlinie hat. Dies kann nach Augenmaß oder mit Hilfe eines Planimeters bzw. eines Rechenprogramms (siehe Anhang A) geschehen. Die Höhe des Rechtecks gibt an den Skalen zu beiden Seiten des Diagramms den Lautstärkepegel in phon (GF) oder in phon (GD) und die Lautheit in sone (GF) oder in sone (GD) an.

Anmerkung: Das hier erläuterte graphische Verfahren ist in ein Rechenprogramm implementiert worden, welches im Anhang A angegeben ist. Einzugebende Größen sind die Terzpegel. Das Rechenprogramm führt sowohl die Bewertung der Terzpegel für Mittenfrequenzen unter 250 Hz als auch die weiteren Prozeduren bis zur Ermittlung der Lautheit und des Lautstärkepegels durch.

Beispiel: Es sollen der Lautstärkepegel und die Lautheit eines Geräusches bei frontalem Einfall berechnet werden. Die für die Berechnung gemessenen Terzpegel L_T sind in der Tabelle 2 angegeben. Während die Terzpegel von 315 Hz (Mittenfrequenz) aufwärts unmittelbar in ein Diagramm, wofür im vorliegenden Fall das Diagramm F4 gewählt wird, eingetragen werden können, sind die Terzpegel unter 315 Hz zu Frequenzgruppenpegeln L_G zusammengefaßt.

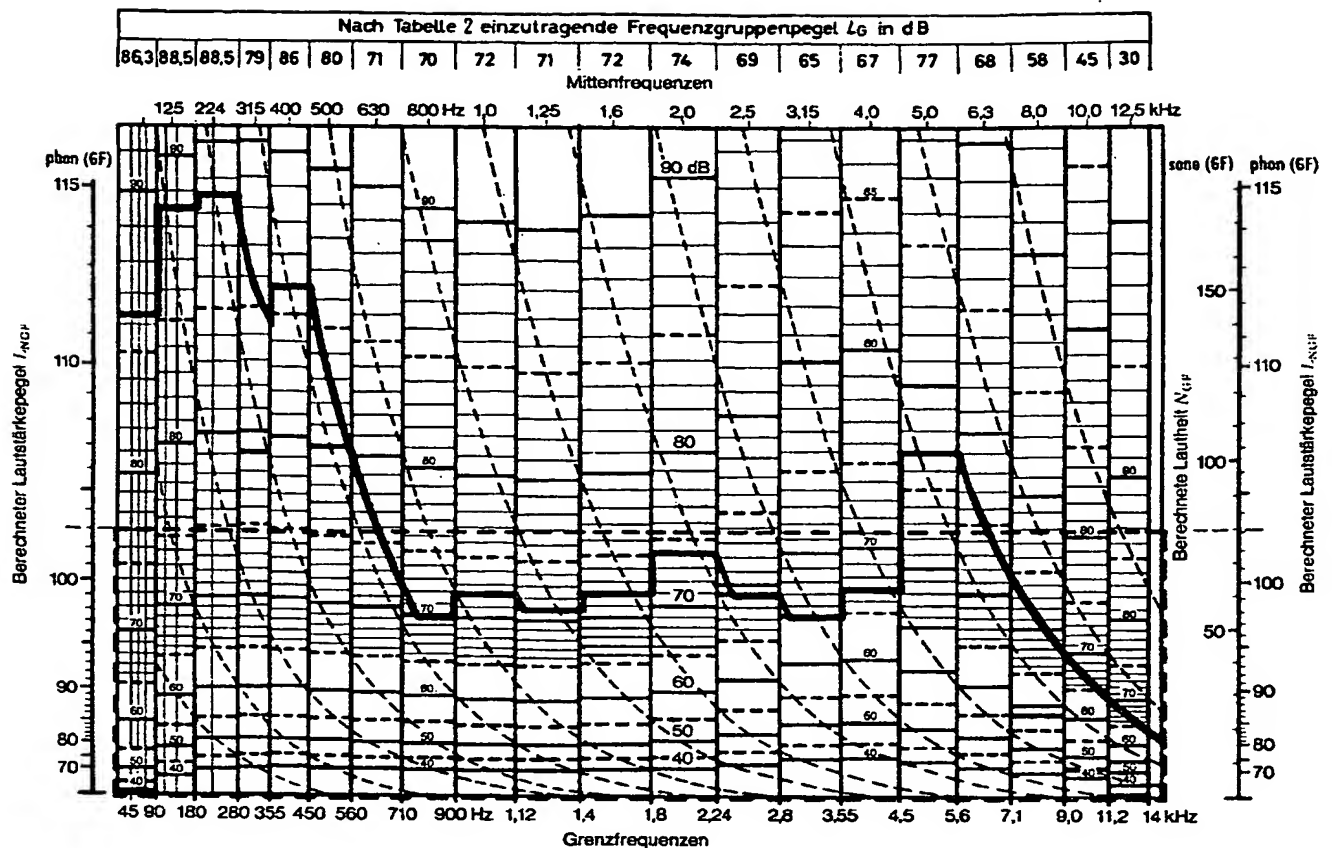


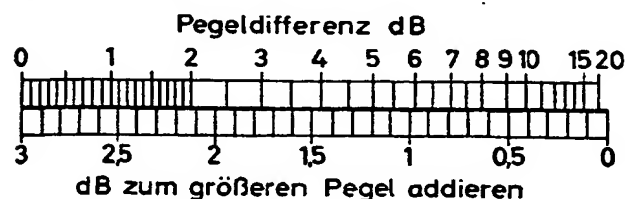
Bild 1. Lautheitsverteilung des als Beispiel gewählten Geräusches

Tabelle 2.

f_T Hz	L_T dB	L_{TBEW} dB	L_G dB	f_T Hz	$L_T=L_G$ dB	f_T Hz	$L_T=L_G$ dB
40	78	64	86,3	315	79	2500	69
50	79	70		400	86	3150	65
63	89	86		500	80	4000	67
80	72	72		630	71	5000	77
100	80	76	88,5	800	70	6300	68
125	89	88		1000	72	8000	58
160	75	75		1250	71	10000	45
200	87	86	88,5	1600	72	12500	30
250	85	85		2000	74	—	—

Für die Zusammenfassung dieser Terzpegel kann folgendes Verfahren verwendet werden:

Man bildet die Differenz zweier zusammenfassender Pegelwerte und sucht im unten abgebildeten Nomogramm den zugeordneten Hilfswert, den man zum größeren der beiden Pegelwerte addiert. Das Ergebnis wird wie ein einziger Pegelwert behandelt, wenn weitere Pegelwerte zusammengefaßt werden sollen (siehe Tabelle 3).



Anmerkung: Dieses Nomogramm beruht auf folgendem mathematischen Zusammenhang:

$$L_{ges} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} \text{ dB} \quad (4)$$

Die Lautheitsverteilung wird nach Abschnitt 4 gezeichnet (siehe Bild 1). Wie man sieht, werden die Terzpegel mit den Mittenfrequenzen 315 Hz; 500 Hz; 630 Hz; 6,3 kHz; 8 kHz; 10 kHz und 12,5 kHz lautheitsmäßig verdeckt.

Tabelle 3. Bewerteter Terzpegel

Bewerteter Terzpegel	Meßwert dB	Pegeldifferenz dB	Zuschlag dB	Ergebnis dB
L_{TBEW40} L_{TBEW50}	64 70	70 - 64 = 6	1	70 + 1 = 71
L_{TBEW63} L_{TBEW80}	86 72	86 - 72 = 14	0,2	86 + 0,2 = 86,2
		86,2 - 71 = 15,2	0,1	86,2 + 0,1 = 86,3

Nach dem Planimetrieren der Lautheitsfläche wird die Höhe des flächengleichen Rechtecks eingetragen und der berechnete Lautstärkepegel L_{NGF} zu 103 phon (GF), die berechnete Lautheit N_{CF} zu 79 sone (GF) bestimmt. Das Rechenprogramm in Anhang A liefert die Werte 103,8 phon und 83,3 sone.

Das Lautheitsdiagramm weist zwei Gebiete besonders großer Teillautheit auf, ein tieferes um 200 Hz, ein höheres um 5000 Hz.

Für dieses Geräusch wurden mit dem Schallpegelmessgerät Werte für den Schallpegel L_A mit 87 dB, für L_B mit 92 dB und L_C mit 94 dB gemessen.

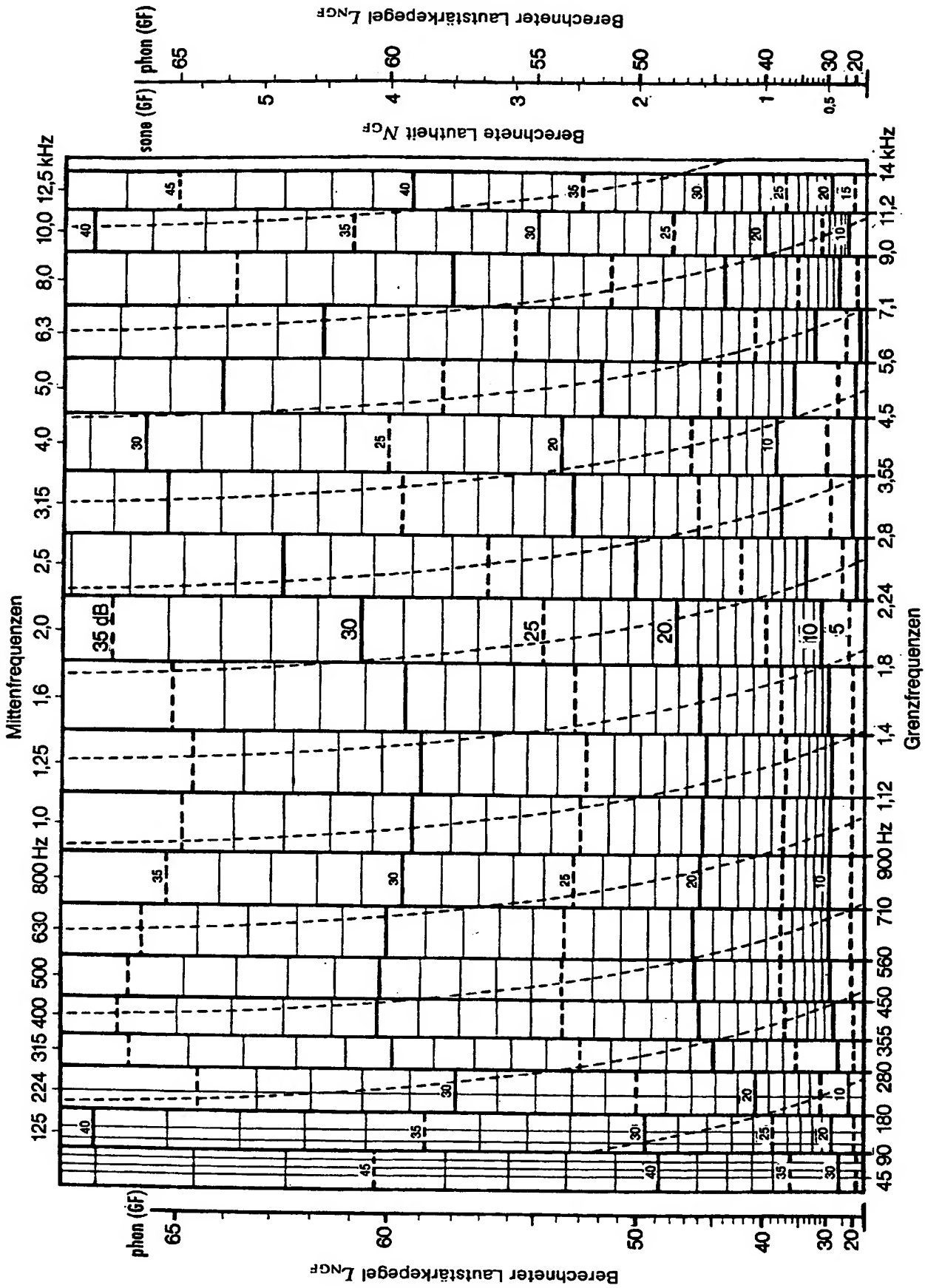


Bild 2. Diagramm F1: bis ≈ 65 phon (GF)

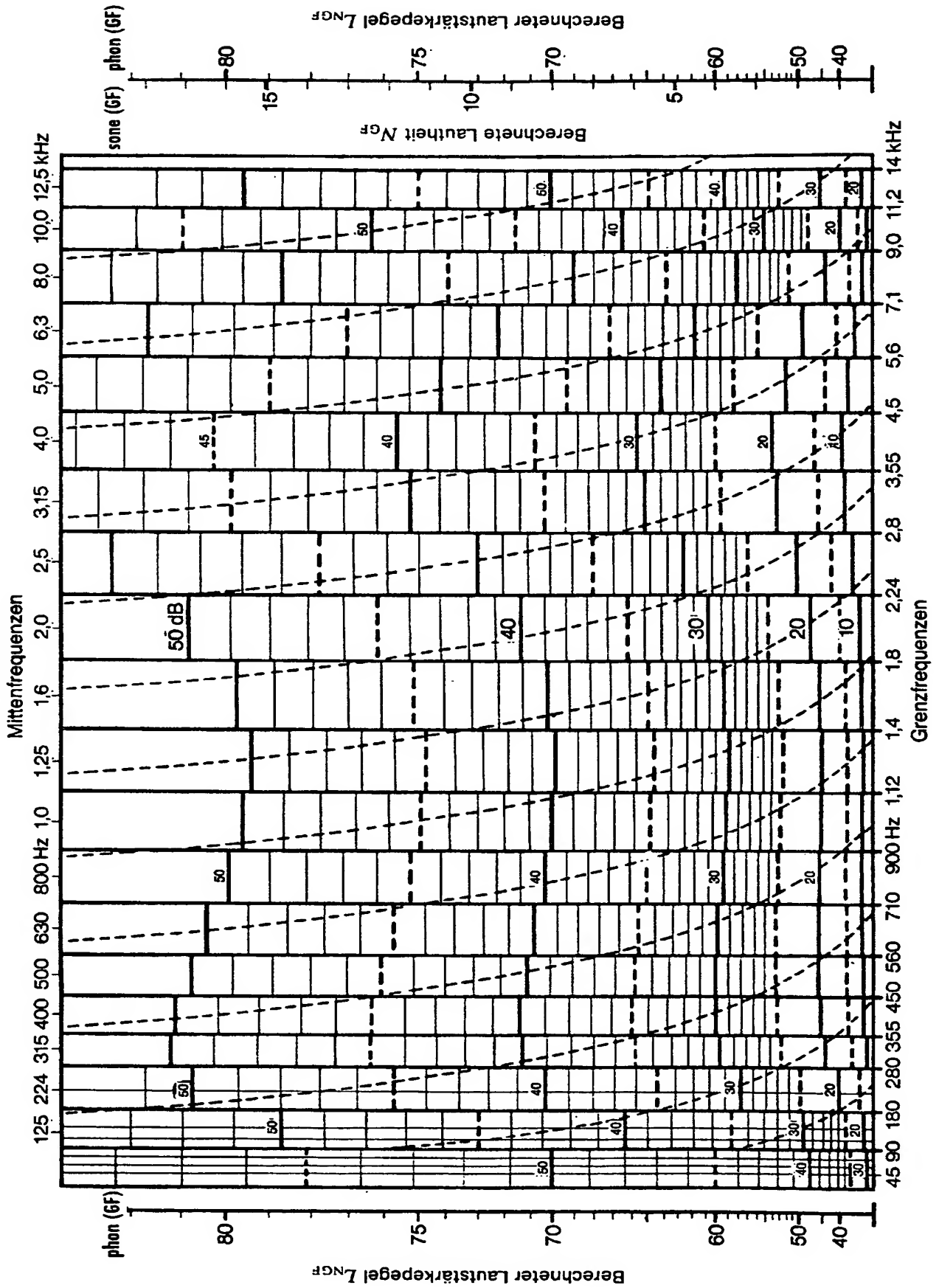


Bild 3. Diagramm F2: bis ≈ 80 phon (G)

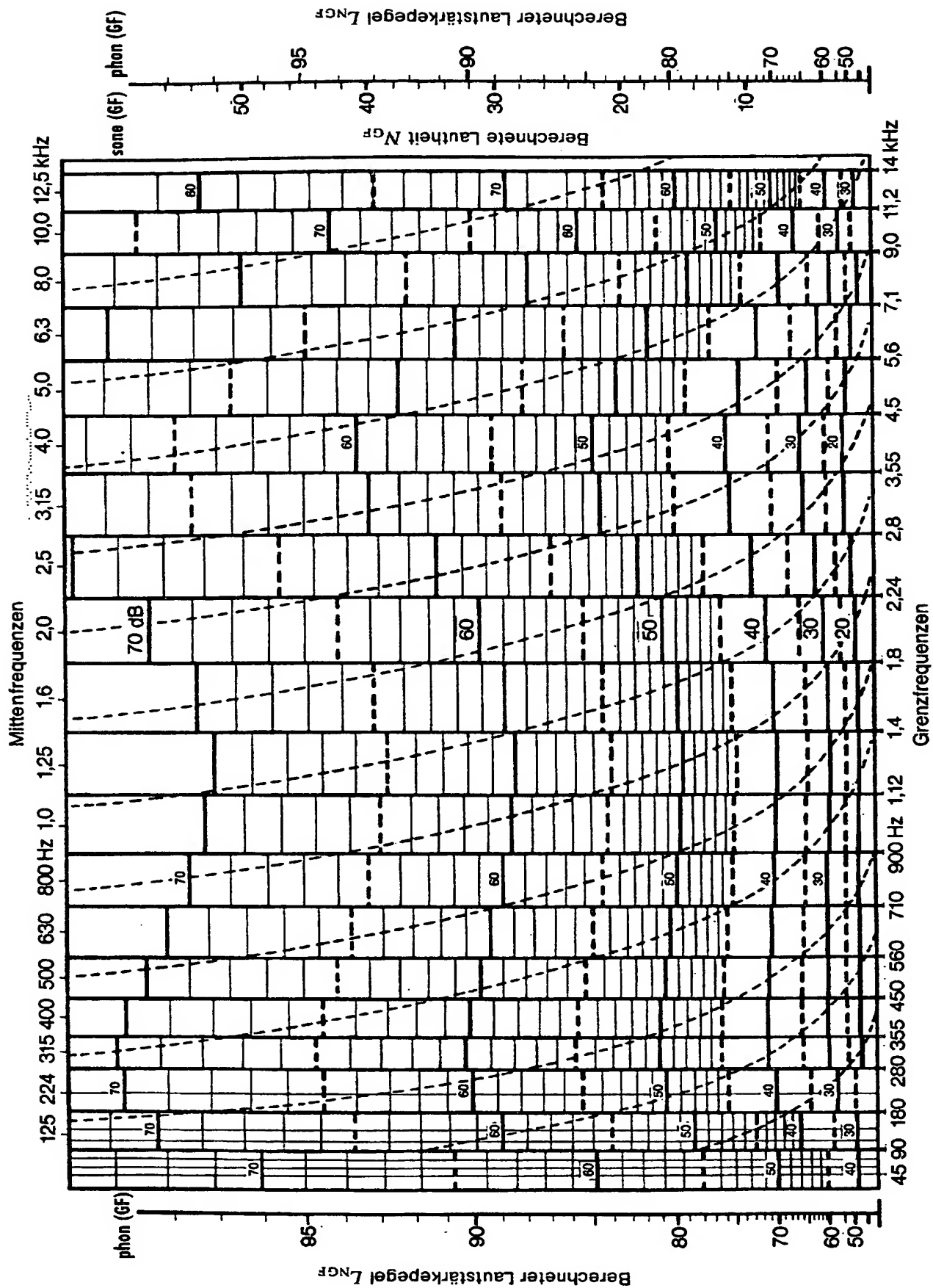
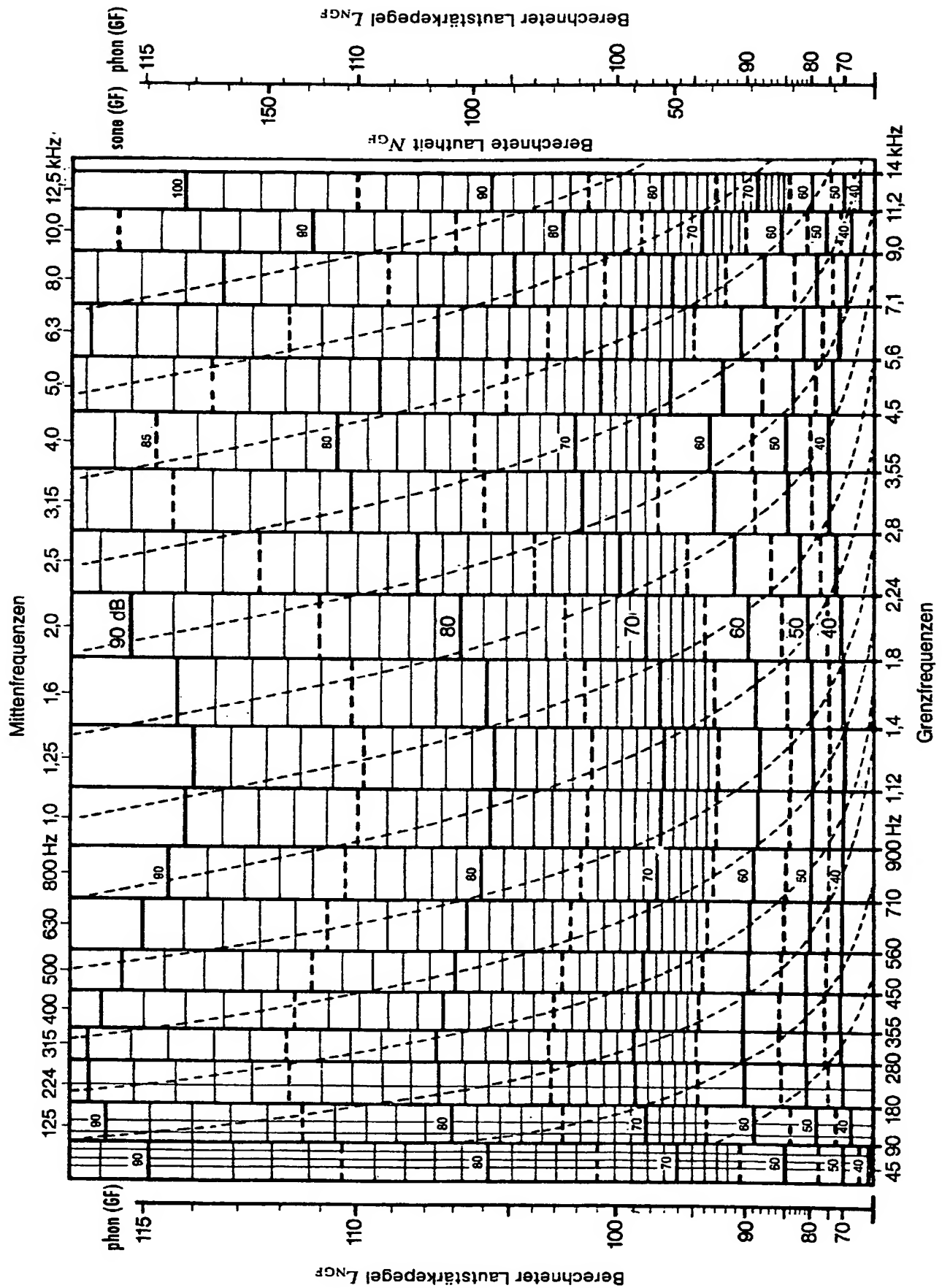


Bild 4. Diagramm F3: bis ≈ 98 phon (GF)


Bild 5. Diagramm F4: bis ≈ 115 phon (GF)

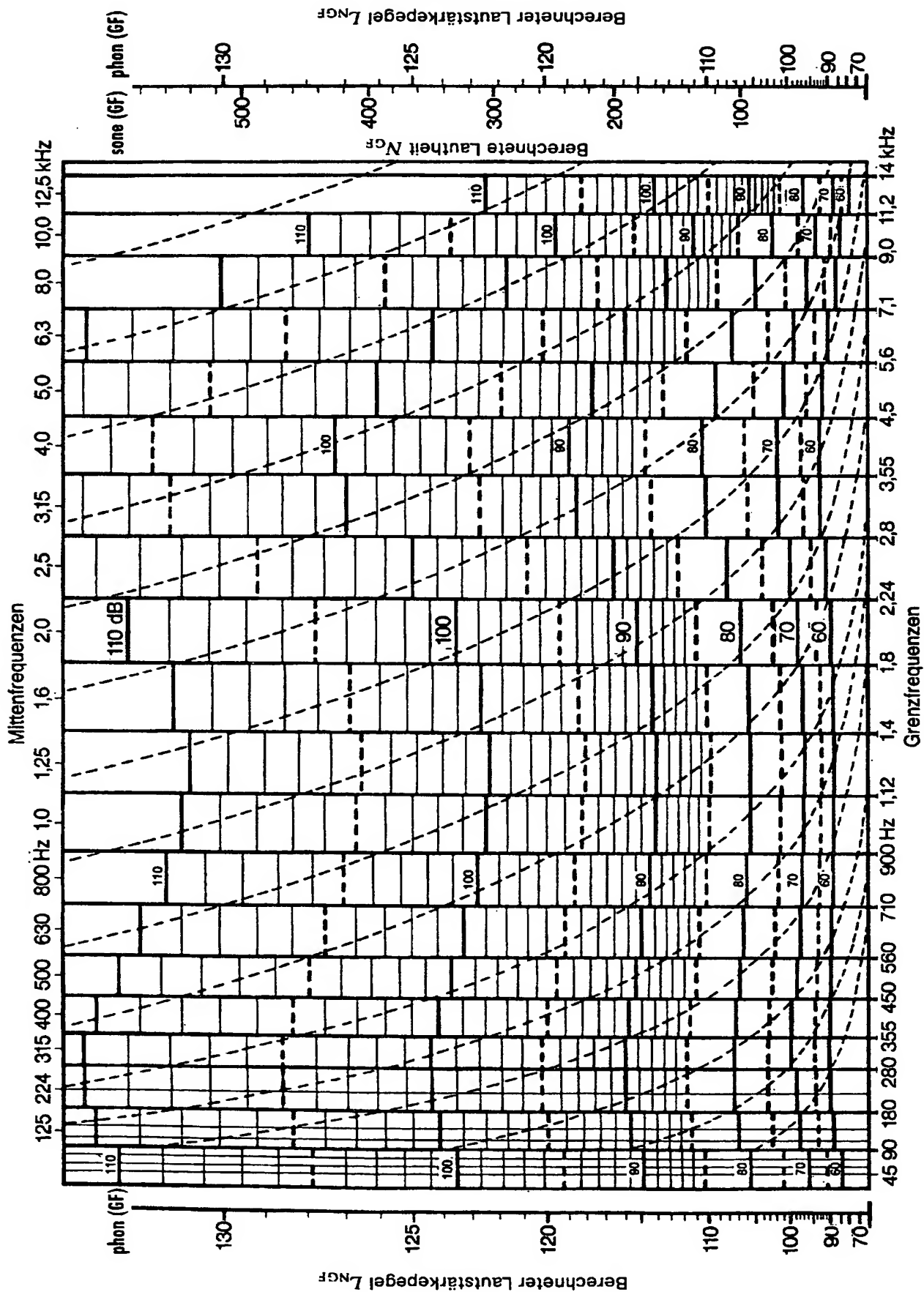


Bild 6. Diagramm F5: bis ≈ 130 phon (GF)

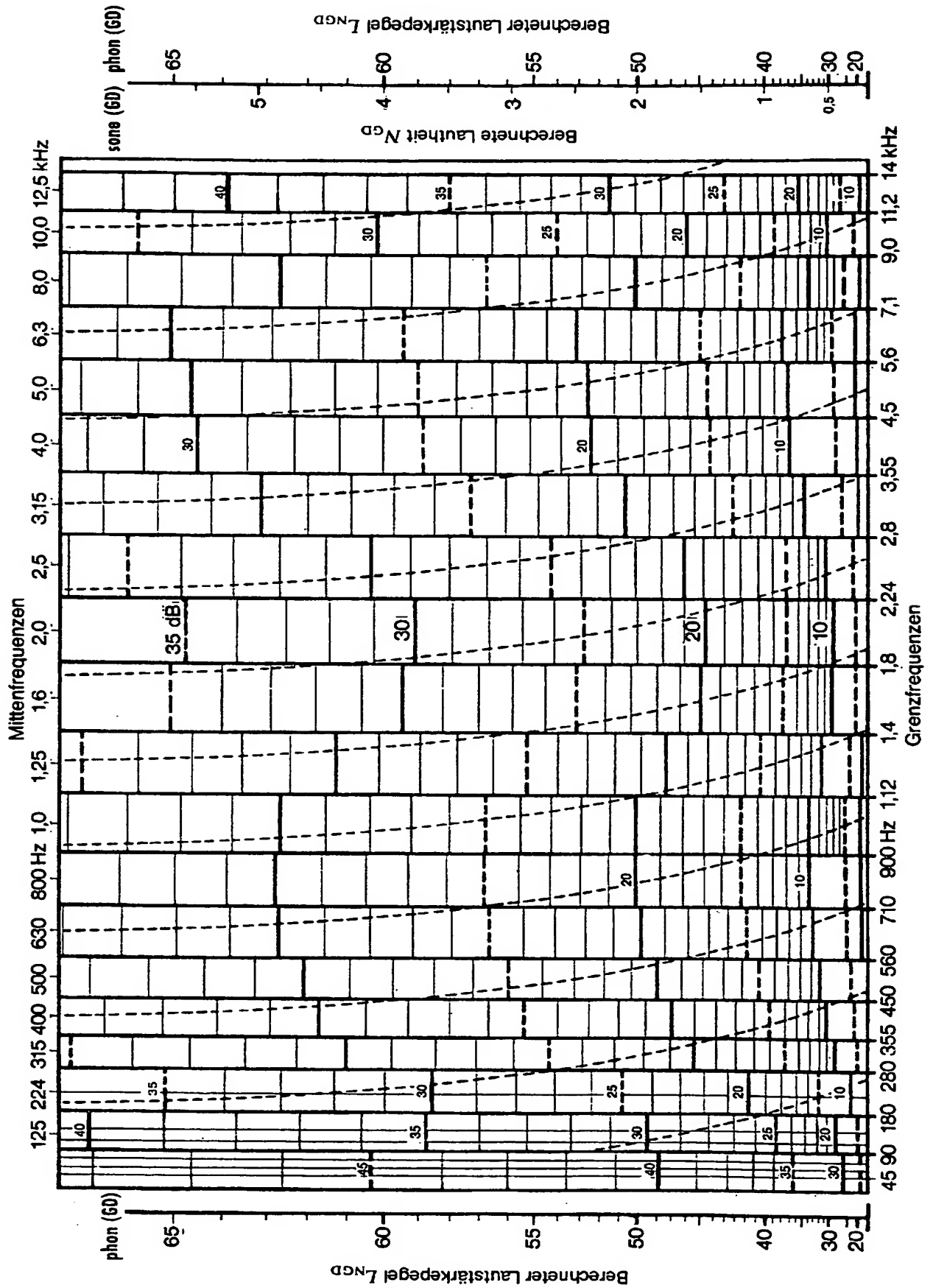


Bild 7. Diagramm D1: bis ≈ 65 phon (GJ)

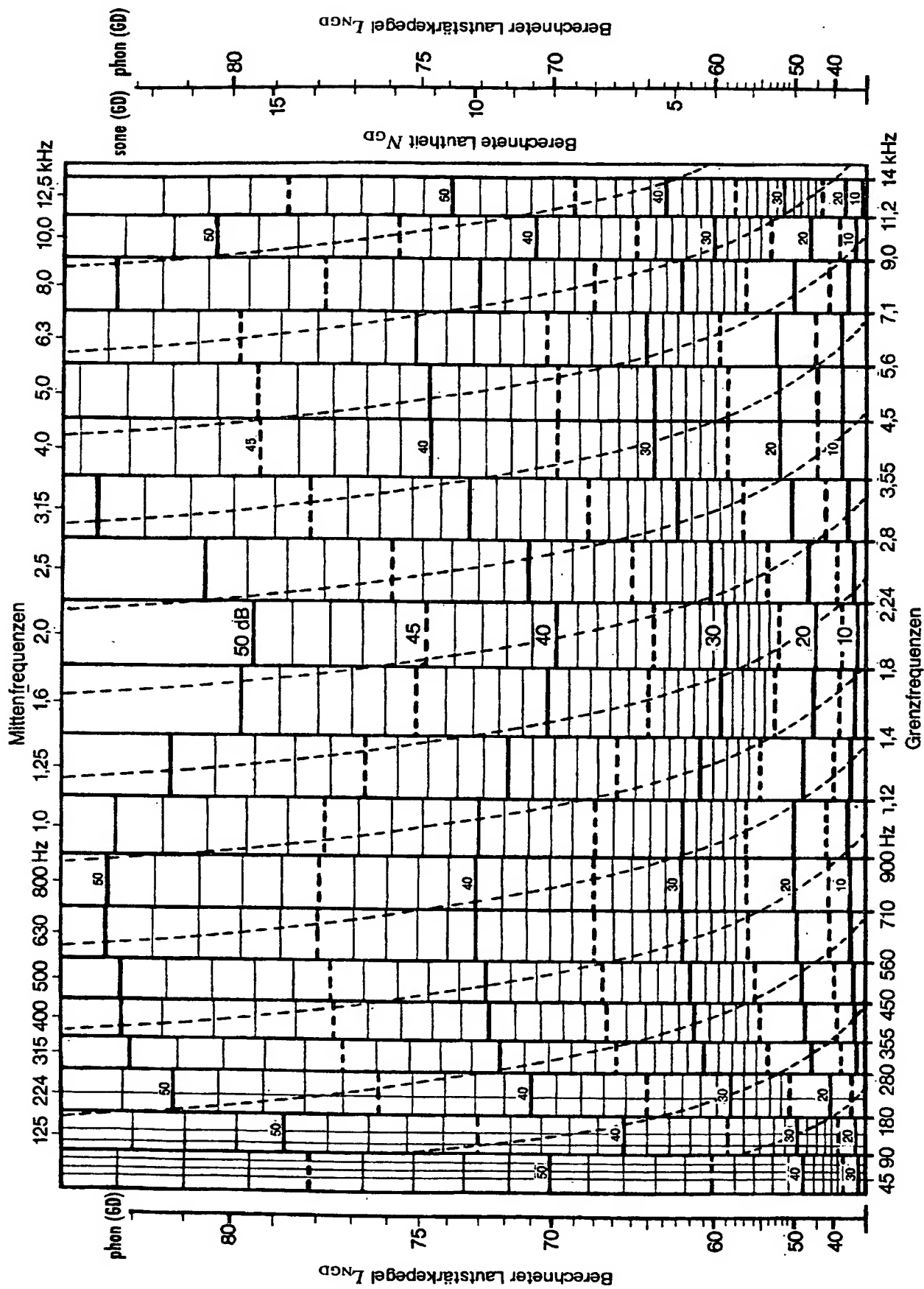
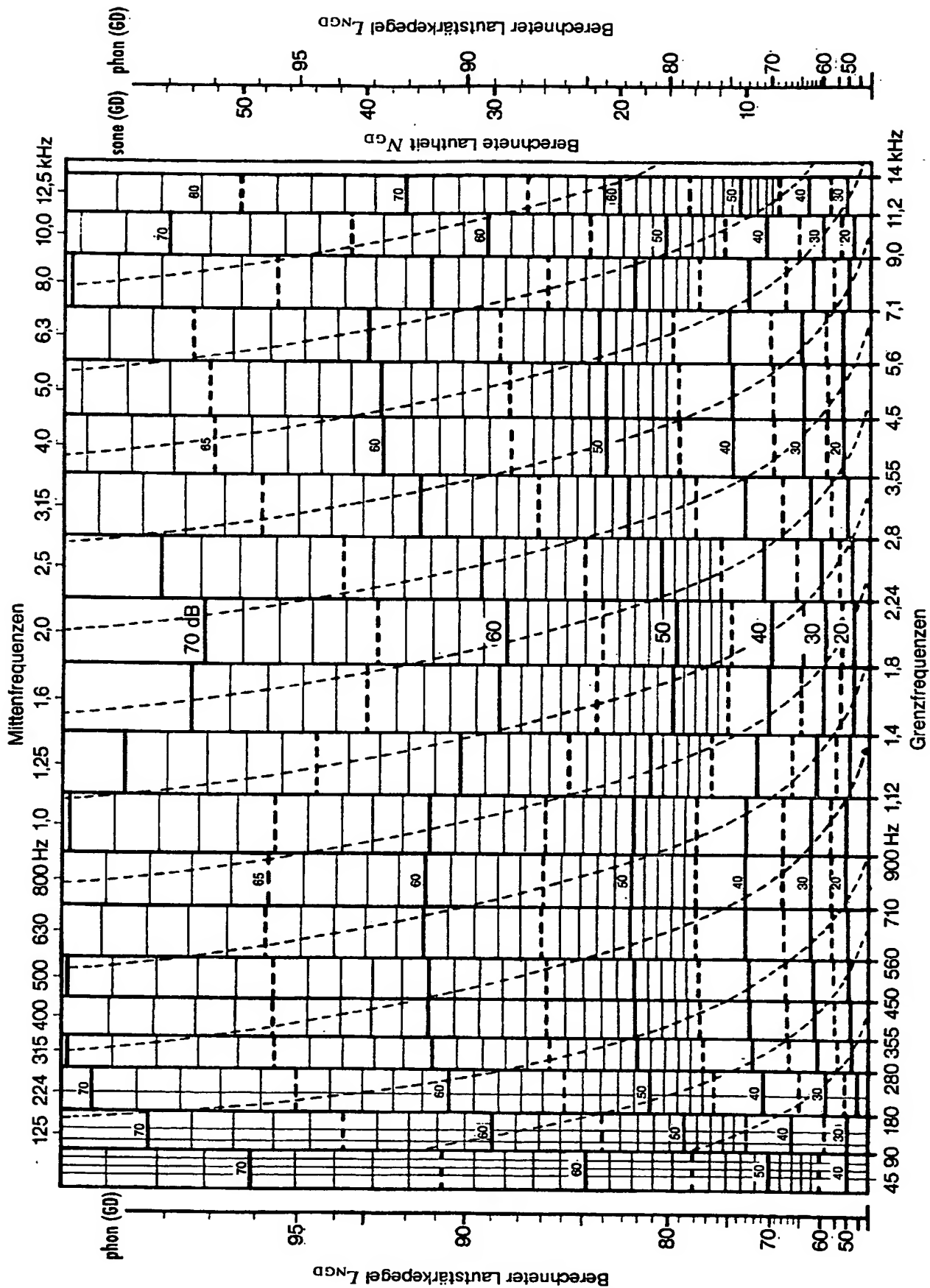


Bild 8. Diagramm D2: bis ≈ 80 phon (GD)



Blid 9. Diagramm D3: bis ≈ 98 phon (GD)

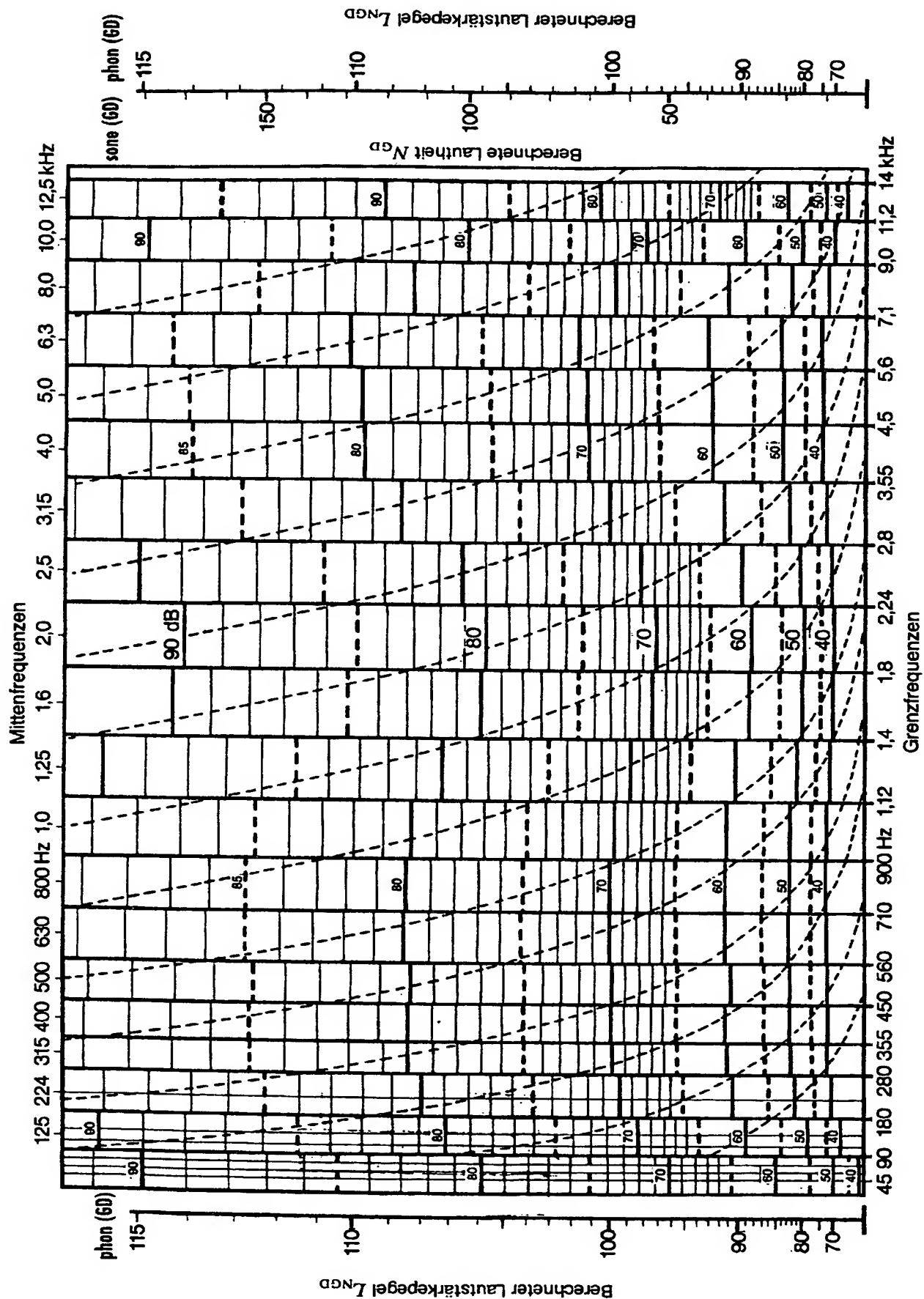


Bild 10. Diagramm D4: bis ≈ 115 phon (GD)

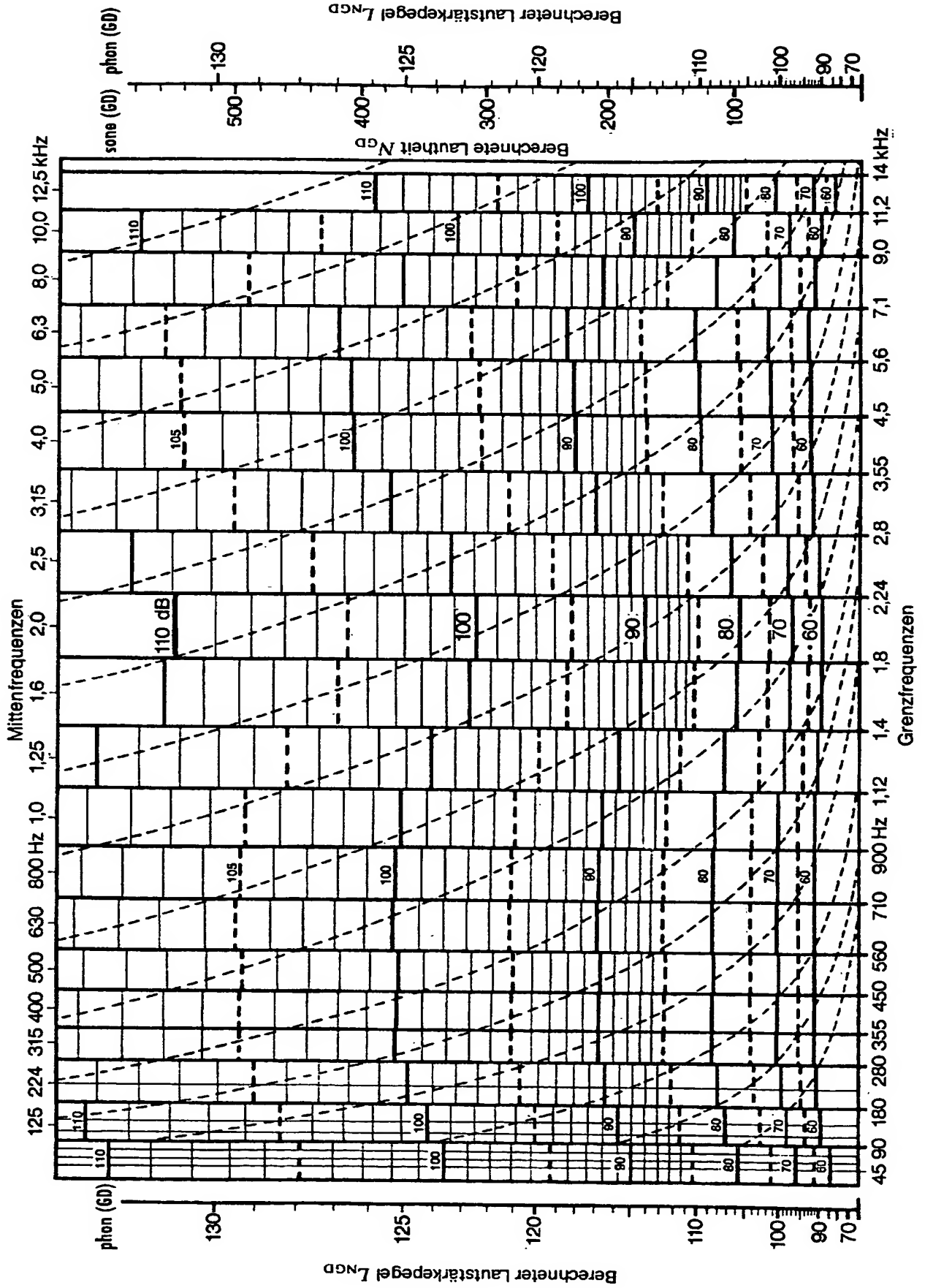


Bild 11. Diagramm D5: bis ≈ 130 phon (GD)


```

590  '*****
600  '*'
610  '*'
620  '*'          ZUP Obere Grenzen der angenäherten Frequenz-
630  '*'          gruppen im Tonheitsmaß
640  '*'
650  '*'          RNS Wertebereich der spezifischen Lautheit,
660  '*'          der die Flankensteilheit der oberen Flanken
670  '*'          im spezifischen Lautheits-Tonheits-
680  '*'          Muster festlegt
690  '*'
700  '*'          USL Flankensteilheiten der oberen Flanken
710  '*'          im spezifischen Lautheits-Tonheits-Muster
720  '*****
730  '
740  '----- Programmvorspann -----
750  '
760  CLS
770  SR1$ = "*****"
780  LOCATE 3, 8
790  PRINT SR1$; SR1$
800  LOCATE 4, 8: PRINT "*": LOCATE 4, 71: PRINT "*"
810  LOCATE 5, 8: PRINT "*": LOCATE 5, 71: PRINT "*"
820  LOCATE 5, 17: PRINT "Lautheitsberechnung nach DIN 45631 (ISO 532 B)"
830  LOCATE 6, 8: PRINT "*": LOCATE 6, 71: PRINT "*"
840  LOCATE 7, 8:
850  PRINT SR1$; SR1$
860  '
870  LOCATE 10, 16
880  PRINT "Dieses Programm berechnet analog zum graphischen"
890  '
900  LOCATE 11, 16
910  PRINT "Verfahren nach Zwicker (DIN 45631) die Lautheit N"
920  '
930  LOCATE 12, 16
940  PRINT "sowie den Lautstärkepegel LN aus den Terzpegeln "
950  '
960  LOCATE 13, 16
970  PRINT "eines Geräusches. "
980  '
990  LOCATE 15, 16
1000 PRINT "Geben Sie zur Berechnung die einzelnen Terzpegel "
1010 '
1020 LOCATE 16, 16
1030 PRINT "in dB ein und bestätigen Sie jede Eingabe mit RETURN."
1040 '
1050 LOCATE 23, 30
1060 PRINT " Weiter mit <RETURN> "
1070 '
1080 GOSUB 4360          'Tastaturspeicher leeren
1090 '
1100 '--- Tastenabfrage ---
1110 '
1120 LOCATE 23, 70: RE$ = INPUT$(1)
1130 IF RE$ = CHR$(13) THEN GOSUB 4360 ELSE 1050
1140 CLS
1150 '
1160 '

```

```

1170 *****
1180
1190 TABELLEN
1200
1210
1220 Terzmittenfrequenzen (FR)
1230
1240 DATA 25, 31.5,40 ,50 ,63 ,80 ,100,125 ,160,200
1250 DATA 250, 315 ,400,500,630,800,1.0,1.25,1.6,2
1260 DATA 2.5, 3.15,4 ,5 ,6.3,8 ,10 ,12.5
1270
1280
1290 Terzpegelbereiche für Korrektur bei niedrigen Frequenzen
1300 entsprechend den Kurven gleicher Lautstärke (RAP)
1310
1320 DATA 45,55,65,71,80,90,100,120
1330
1340
1350 Terzpegelabsenkung bei niedrigen Frequenzen gemäß den
1360 Kurven gleicher Lautstärke in den acht durch RAP de-
1370 finierten Bereichen (DLL)
1380
1390 DATA -32,-24,-16,-10,-5,0, -7,-3,0, -2,0
1400 DATA -29,-22,-15,-10,-4,0, -7,-2,0, -2,0
1410 DATA -27,-19,-14,-9,-4,0, -6,-2,0, -2,0
1420 DATA -25,-17,-12,-9,-3,0, -5,-2,0, -2,0
1430 DATA -23,-16,-11,-7,-3,0, -4,-1,0, -1,0
1440 DATA -20,-14,-10,-6,-3,0, -4,-1,0, -1,0
1450 DATA -18,-12,-9,-6,-2,0, -3,-1,0, -1,0
1460 DATA -15,-10,-8,-4,-2,0, -3,-1,0, -1,0
1470
1480
1490 Frequenzgruppenpegel an der Ruhehörschwelle ohne
1500 Berücksichtigung der Übertragungscharakteristik des
1510 Ohres (LTQ)
1520
1530 DATA 30,18,12, 8, 7, 6, 5, 4
1540 DATA 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3
1550 DATA 3, 3, 3, 3
1560
1570
1580 Pegelkorrektur gemäß der Übertragungscharakteristik
1590 des Ohres (A0)
1600
1610 DATA 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0
1620 DATA 0.0, 0.0,-0.5,-1.6,-3.2,-5.4,-5.6,-4.0
1630 DATA -1.5, 2.0, 5.0,12.0
1640
1650
1660 Pegeldifferenz zwischen freiem und diffusem Schall-
1670 feld (DDF)
1680
1690 DATA 0.0,0.0,0.5, 0.9, 1.2, 1.6, 2.3,2.8
1700 DATA 3.0,2.0,0.0,-1.4,-2.0,-1.9,-1.0,0.5
1710 DATA 3.0,4.0,4.3,4.0
1720
1730

```



```

1740 ' Anpassung der Terzpegel an die zugehörigen Frequenz-
1750 ' gruppenpegel aufgrund unterschiedlicher Bandbreite (DCB)
1760 '
1770 DATA -.25,-0.6,-0.8,-0.8,-0.5,0.0,0.5,1.1
1780 DATA 1.5, 1.7, 1.8, 1.8, 1.7, 1.6,1.4,1.2
1790 DATA 0.8, 0.5, 0.0,-0.5
1800 '
1810 '
1820 ' Obere Grenzen der angenäherten Frequenzgruppen im
1830 ' Tonheitsmaß (ZUP)
1840 '
1850 DATA 0.9, 1.8, 2.8, 3.5, 4.4, 5.4, 6.6, 7.9
1860 DATA 9.2,10.6,12.3,13.8,15.2,16.7,18.1,19.3
1870 DATA 20.6,21.8,22.7,23.6,24.0
1880 '
1890 '
1900 ' Wertebereich der spezifischen Lautheit, der die Flanken-
1910 ' steilheit der oberen Flanken im spezifischen Lautheits-
1920 ' Tonheits-Muster festlegt (RNS)
1930 '
1940 DATA 21.5,18.0,15.1,11.5, 9.0, 6.1, 4.4,3.1
1950 DATA 2.13,1.36,0.82,0.42,0.30,0.22,0.15,0.10
1960 DATA 0.035,0.0
1970 '
1980 '
1990 ' Flankensteilheiten der oberen Flanken im spezifischen
2000 ' Lautheits-Tonheits-Muster für die Wertebereiche RNS als
2010 ' Funktion der Nummer der Frequenzgruppe (USL)
2020 '
2030 DATA 13.00 ,8.20 ,6.30 ,5.50 ,5.50 ,5.50 ,5.50 ,5.50
2040 DATA 9.00 ,7.50 ,6.00 ,5.10 ,4.50 ,4.50 ,4.50 ,4.50
2050 DATA 7.80 ,6.70 ,5.60 ,4.90 ,4.40 ,3.90 ,3.90 ,3.90
2060 DATA 6.20 ,5.40 ,4.60 ,4.00 ,3.50 ,3.20 ,3.20 ,3.20
2070 DATA 4.50 ,3.80 ,3.60 ,3.20 ,2.90 ,2.70 ,2.70 ,2.70
2080 DATA 3.70 ,3.00 ,2.80 ,2.35 ,2.20 ,2.20 ,2.20 ,2.20
2090 DATA 2.90 ,2.30 ,2.10 ,1.90 ,1.80 ,1.70 ,1.70 ,1.70
2100 DATA 2.40 ,1.70 ,1.50 ,1.35 ,1.30 ,1.30 ,1.30 ,1.30
2110 DATA 1.95 ,1.45 ,1.30 ,1.15 ,1.10 ,1.10 ,1.10 ,1.10
2120 DATA 1.50 ,1.20 ,0.94 ,0.86 ,0.82 ,0.82 ,0.82 ,0.82
2130 DATA 0.72 ,0.67 ,0.64 ,0.63 ,0.62 ,0.62 ,0.62 ,0.62
2140 DATA 0.59 ,0.53 ,0.51 ,0.50 ,0.42 ,0.42 ,0.42 ,0.42
2150 DATA 0.40 ,0.33 ,0.26 ,0.24 ,0.22 ,0.22 ,0.22 ,0.22
2160 DATA 0.27 ,0.21 ,0.20 ,0.18 ,0.17 ,0.17 ,0.17 ,0.17
2170 DATA 0.16 ,0.15 ,0.14 ,0.12 ,0.11 ,0.11 ,0.11 ,0.11
2180 DATA 0.12 ,0.11 ,0.10 ,0.08 ,0.08 ,0.08 ,0.08 ,0.08
2190 DATA 0.09 ,0.08 ,0.07 ,0.06 ,0.06 ,0.06 ,0.06 ,0.05
2200 DATA 0.06 ,0.05 ,0.03 ,0.02 ,0.02 ,0.02 ,0.02 ,0.02
2210 '
2220 '

```

```

2230 '*****
2240 '
2250 '----- Dimensionierung und Belegen der Variablen -----
2260 '
2270 OPTION BASE 1      'Feldindizes beginnen mit 1
2280 '
2290 DIM LT(28), FR(28), CLT(28), CFR(28), GI(3), LTQ(20), LE(21)
2300 DIM LCB(3), NM(21), RAP(8), NS(240), DLL(11, 8), AO(20)
2310 DIM DCB(20), DDF(20), ZUP(21), RNS(18), USL(18, 8)
2320 DIM TI(11), KOMM$(80), XP(10), XB(10), XX(10)
2330 '
2340 RESTORE 1240
2350   FOR I = 1 TO 28
2360     READ FR(I)
2370   NEXT I
2380   FOR I = 1 TO 8
2390     READ RAP(I)
2400   NEXT I
2410   FOR J = 1 TO 8
2420     FOR I = 1 TO 11
2430       READ DLL(I, J)
2440     NEXT I
2450   NEXT J
2460   FOR I = 1 TO 20
2470     READ LTQ(I)
2480   NEXT I
2490   FOR I = 1 TO 20
2500     READ AO(I)
2510   NEXT I
2520   FOR I = 1 TO 20
2530     READ DDF(I)
2540   NEXT I
2550   FOR I = 1 TO 20
2560     READ DCB(I)
2570   NEXT I
2580   FOR I = 1 TO 21
2590     READ ZUP(I)
2600   NEXT I
2610   FOR I = 1 TO 18
2620     READ RNS(I)
2630   NEXT I
2640   FOR I = 1 TO 18
2650     FOR J = 1 TO 8
2660       READ USL(I, J)
2670     NEXT J
2680   NEXT I
2690 '
2700 '*****

```

```

2710 '*****
2720 '
2730 '----- Ein- und Ausgabeteil -----
2740 '
2750 '--- Eingabe der Terzpegel
2760 '
2770 CLS : GOSUB 4360      'Tastaturspeicher leeren
2780 '
2790 X = 5                'Ausgabezeilenzähler am Bildschirm
2800 '
2810 FOR I = 1 TO 28
2820     X = X + 1
2830     IF X = 20 THEN CLS : X = 5
2840     LOCATE 1, 1
2850     PRINT "Geben Sie bitte die Terzpegel (Format: ***.*) ein!"
2860     PRINT "Bestätigen Sie mit 'RETURN' oder 'ENTER'!"
2870     LOCATE X, 20
2880     IF I < 17 THEN 2890 ELSE 2920
2890     PRINT "Terzpegel bei ";
2900     PRINT USING "###.#"; FR(I); : PRINT " Hz: "
2910     GOTO 2940
2920     PRINT "Terzpegel bei ";
2930     PRINT USING "##.##"; FR(I); : PRINT " kHz: "
2940     LOCATE X, 50: INPUT LT(I)
2950     LOCATE 23, 1: PRINT SPACE$(79)
2960     IF LT(I) = 0 THEN LT(I) = -60
2970     IF LT(I) < -60 OR LT(I) > 120 THEN 2980 ELSE 3040
2980     LOCATE 23, 1
2990     PRINT "Achtung! Das Programm verarbeitet nur Terzpegel"
3000     LOCATE 23, 49
3010     PRINT "zwischen -60 dB und 120 dB !": BEEP
3020     LOCATE X, 48: PRINT SPACE$(20)
3030     GOTO 2940
3040     LOCATE X, 49: PRINT USING "#####.#"; LT(I):
3050     LOCATE X, 56: PRINT " dB      "
3060     '
3070     GOSUB 4360      'Tastaturspeicher leeren
3080     '
3090 NEXT I
3100 '
3110 '--- Schallfeldtyp (frei/diffus) auswählen ---
3120 '
3130 GOSUB 4360      'Tastaturspeicher leeren
3140 CLS
3150 LOCATE 11, 1
3160 PRINT "Angabe des Schallfeldtyps:"
3170 LOCATE 15, 1
3180 PRINT "Geben Sie bitte den gewünschten Kennbuchstaben ein!"
3190 LOCATE 13, 1
3200 PRINT "Sind die Terzpegel gültig für Freies (F) "
3210 LOCATE 13, 43
3220 PRINT "oder Diffuses (D) Schallfeld?      ";
3230 '
3240 M$ = INPUT$(1)
3250 '
3260 IF M$ = "F" OR M$ = "f" THEN
3270     M$ = "F"

```

```

3280      GOTO 3340
3290 END IF
3300 IF M$ = "D" OR M$ = "d" THEN
3310     M$ = "D"
3320 ELSE GOTO 3130
3330 END IF
3340 '
3350 '
3360 CLS                                ' Lautheitsberechnung aufrufen
3370 LOCATE 12, 30:
3380 PRINT "Berechnung läuft..."
3390 GOSUB 4500
3400 '
3410 '
3420 '--- Programmabschluss - Ergebnisausgabe auf Bildschirm/Drucker ---
3430 '
3440 CLS
3450 LOCATE 5, 9:
3460 PRINT SR1$; SR1$
3470 LOCATE 6, 9: PRINT "*": LOCATE 6, 72: PRINT "*"
3480 LOCATE 7, 9: PRINT "*": LOCATE 7, 23:
3490 PRINT "Lautheit      N = ";
3500 IF N <= 16 THEN PRINT USING "####.##"; N;
3510 IF N > 16 THEN PRINT USING "####.##"; N; : PRINT " ";
3520 PRINT "      sone G"; M$
3530 LOCATE 7, 72: PRINT "*"
3540 LOCATE 8, 9: PRINT "*": LOCATE 8, 23:
3550 PRINT "Lautstärkepegel LN = "; : PRINT USING "###.##"; LN;
3560 PRINT "      phon G"; M$
3570 LOCATE 8, 72: PRINT "*"
3580 LOCATE 9, 9: PRINT "*": LOCATE 9, 72: PRINT "*"
3590 LOCATE 10, 9:
3600 PRINT SR1$; SR1$
3610 '
3620 GOSUB 4360      'Tastaturspeicher leeren
3630 '
3640 LOCATE 17, 25: PRINT "Obige Tabelle ausdrucken? (j/n)"
3650 PR$ = INPUT$(1)
3660 '
3670 '--- Tastenabfrage
3680 '
3690 IF PR$ = "j" OR PR$ = "J" THEN
3700     GOSUB 3940      'Druckausgabe
3710 END IF
3720 '
3730 '--- Programmende
3740 '
3750 CLS : GOSUB 4360      'Tastaturspeicher leeren
3760 '
3770 LOCATE 12, 10
3780 PRINT "  Neue Eingabe von Terzpegeln (j) oder PROGRAMMENDE (n) ? "
3790 NE$ = INPUT$(1)
3800 '
3810 IF NE$ = "j" OR NE$ = "J" THEN 2730
3820 IF NE$ = "n" OR NE$ = "N" THEN 3830
3830 CLS
3840 SCREEN 0
3850 LOCATE 12, 34: PRINT "Programmende"
3860 '
3870 LOCATE 23, 1
3880 END

```

```

3890 '=====
3900 '===== UNTERPROGRAMME =====
3910 '=====
3920 '
3930 '*****
3940 '* Unterprogramm zur Ausgabe des Rechenergebnisses auf Drucker *
3950 '*****
3960 '
3970 LOCATE 17, 1: PRINT SPACE$(79)      'Zeile löschen
3980 '
3990 LOCATE 17, 20
4000 PRINT "Drucker an ? - Papier eingelegt ?      "
4010 LOCATE 19, 20
4020 PRINT "wenn bereit, dann beliebige Taste drücken"
4030 '
4040 GOSUB 4360: GOSUB 6380              'Tastenabfrage
4050 ON ERROR GOTO 6250                 'Fehlerbehandlung
4060 '                                  bei Gerätefehler
4070 CLS
4080 '
4090 DT1$ = MID$(DATE$, 4, 2)
4100 DT2$ = LEFT$(DATE$, 2)
4110 DT3$ = RIGHT$(DATE$, 2)
4120 DT$ = DT1$ + "." + DT2$ + "." + DT3$
4130 '
4140 LPRINT
4150 LPRINT SPACE$(10); "*** DIN - LAUTHEITSBERECHNUNG ***"
4160 LPRINT
4170 LPRINT SPACE$(10);
4180 LPRINT "DATUM:"; " "; DT$; " "; "ZEIT:"; " "; TIME$
4190 LPRINT
4200 LPRINT SPACE$(10);
4210 LPRINT "N = ";
4220 IF N <= 16 THEN LPRINT USING "####.##"; N;
4230 IF N > 16 THEN LPRINT USING "####.##"; N; : LPRINT " ";
4240 LPRINT " sone G"; M$
4250 LPRINT SPACE$(10);
4260 LPRINT "LN = "; : LPRINT USING "###.##"; LN;
4270 LPRINT " phon G"; M$
4280 LPRINT
4290 RETURN
4300 '
4310 '

```

```

4320 '*****
4330 '* Unterprogramm zur Entleerung des Tastaturspeichers *
4340 '*****
4350 '
4360 FOR W = 1 TO 50
4370   W$ = INKEY$
4380   IF LEN(W$) = 0 THEN RETURN
4390 NEXT W
4400 '
4410 '
4420 '*****
4430 '*** Unterprogramm - BERECHNUNG DER LAUTHEIT ***
4440 '*****
4450 '
4460 '--- Korrektur der Terzpegel gemäß der Kurven gleicher
4470 '   Lautstärke (XP) und Berechnung der Intensitäten
4480 '   für die Terzbänder bis 320 Hz
4490 '
4500 FOR I = 1 TO 11
4510   J = 1
4520   IF LT(I) <= RAP(J) - DLL(I, J) THEN GOTO 4570
4530   J = J + 1
4540   IF J < 8 THEN
4550     GOTO 4520
4560   END IF
4570   XP = LT(I) + DLL(I, J)
4580   TI(I) = 10 ^ (.1 * XP)
4590 NEXT I
4600 '
4610 '
4620 '--- Bestimmung der Pegel LCB(1),LCB(2) und LCB(3) in
4630 '   den drei ersten Frequenzgruppen
4640 '
4650 DEF FNFI (I) = 10 * LOG(GI(I)) / LOG(10)
4660 GI(1) = TI(1) + TI(2) + TI(3) + TI(4) + TI(5) + TI(6)
4670 GI(2) = TI(7) + TI(8) + TI(9)
4680 GI(3) = TI(10) + TI(11)
4690 '
4700 FOR I = 1 TO 3
4710   IF GI(I) > 0 THEN LCB(I) = FNFI(I)
4720 NEXT I
4730 '
4740 '
4750 '--- Berechnung der Kernlautheit NM(I)
4760 '
4770 FOR I = 1 TO 20
4780   LE(I) = LT(I + 8)
4790   IF I <= 3 THEN LE(I) = LCB(I)
4800   LE(I) = LE(I) - A0(I)
4810   NM(I) = 0
4820   IF M$ = "D" OR M$ = "d" THEN LE(I) = LE(I) + DDF(I)
4830   IF LE(I) <= LTQ(I) THEN 4940
4840   LE(I) = LE(I) - DCB(I)
4850 '
4860   S = .25 'Schwellenfaktor
4870 '
4880   MP1 = .0635 * 10 ^ (.025 * LTQ(I))

```

```

4890     MP2 = (1 - S + S * 10 ^ (.1 * (LE(I) - LTQ(I)))) ^ .25 - 1
4900     NM(I) = MP1 * MP2
4910     '
4920     IF NM(I) <= 0 THEN NM(I) = 0
4930     '
4940     NEXT I
4950     NM(21) = 0
4960     '
4970     '
4980     '--- Korrektur der spezifischen Lautheit in der untersten
4990     '       Frequenzgruppe zur Berücksichtigung des Ruhehörschwellen-
5000     '       verlaufs innerhalb dieser Frequenzgruppe
5010     '
5020     KORRY = .4 + .32 * NM(1) ^ .2
5030     IF KORRY > 1 THEN KORRY = 1
5040     NM(1) = NM(1) * KORRY
5050     '
5060     '
5070     '--- Voreinstellung
5080     '
5090     N = 0
5100     Z1 = 0
5110     N1 = 0
5120     IZ = 1
5130     Z = .1
5140     '
5150     '
5160     '--- Schritt zur ersten und den weiteren Frequenzgruppen
5170     '
5180     FOR I = 1 TO 21
5190     '
5200         ZUP(I) = ZUP(I) + .0001
5210     '
5220         IG = I - 1
5230         IF IG > 8 THEN IG = 8
5240     '
5250     '
5260         IF N1 > NM(I) THEN
5270             GOTO 5610                                'Flankenlautheit
5280         END IF
5290         IF N1 = NM(I) THEN
5300             GOTO 5460                                'Kernlautheit
5310         END IF
5320     '
5330     '
5340     '--- Bestimmung der Zahl J des Bereichs der spezifischen
5350     '       Lautheit
5360     '
5370         FOR J = 1 TO 18
5380             IF RNS(J) < NM(I) THEN 5460
5390         NEXT J
5400     '
5410     '
5420     '--- Beitrag der nichtmaskierten Kernlautheit zur Gesamt-
5430     '       lautheit und Berechnung der Stützwerte NS(I) im Ab-
5440     '       stand Z=IZ*0.1 BARK
5450     '

```

```

5460      Z2 = ZUP(I)
5470      N2 = NM(I)
5480      N = N + N2 * (Z2 - Z1)
5490
5500      FOR K = Z TO Z2 STEP .1
5510          NS(IZ) = N2
5520          IZ = IZ + 1
5530      NEXT K
5540      Z = K
5550      GOTO 5850                      'nächstes Segment
5560
5570
5580 '--- Beitrag des Wertes N2 der spez. Lautheit an der
5590 'Bandgrenze
5600
5610      N2 = RNS(J)
5620      IF N2 < NM(I) THEN N2 = NM(I)
5630      DZ = (N1 - N2) / USL(J, IG)
5640      Z2 = Z1 + DZ
5650      IF Z2 <= ZUP(I) THEN 5750
5660      Z2 = ZUP(I)
5670      DZ = Z2 - Z1
5680      N2 = N1 - DZ * USL(J, IG)
5690
5700
5710 '--- Beitrag der Flankenlautheiten zur Gesamtlautheit
5720 'und Berechnung der zugehörigen Stützwerte NS(IZ)
5730 'im Abstand Z=IZ*0.1 BARK
5740
5750      N = N + DZ * (N1 + N2) / 2
5760      FOR K = Z TO Z2 STEP .1
5770          NS(IZ) = N1 - (K - Z1) * USL(J, IG)
5780          IZ = IZ + 1
5790      NEXT K
5800      Z = K
5810
5820
5830 '--- Schritt zum nächsten Segment
5840
5850      IF N2 <= RNS(J) THEN
5860          IF J < 18 THEN
5870              J = J + 1
5880              GOTO 5850
5890          END IF
5900          IF J >= 18 THEN J = 18
5910      END IF
5920      Z1 = Z2
5930      N1 = N2
5940      IF Z1 < ZUP(I) THEN 5260
5950
5960 NEXT I
5970
5980 IF N < 0 THEN N = 0
5990
6000 IF N <= 16 THEN                      'Rundung
6010     N = INT(N * 1000 + .5) / 1000
6020 ELSEIF N > 16 THEN

```



```

6030     N = INT(N * 100 + .5) / 100
6040 END IF
6050 '
6060 '
6070 '--- Berechnung der Pegellautstärke für LN < 40 PHON
6080 '     bzw. N < 1 SONE
6090 '
6100 LN = 40 * (N + .0005) ^ .35
6110 IF LN < 3 THEN LN = 3
6120 '
6130 '--- Berechnung der Pegellautstärke für LN >= 40 PHON
6140 '     bzw. N >= 1 SONE
6150 '
6160 IF N >= 1 THEN LN = 10 * LOG(N) / LOG(2) + 40
6170 '
6180 RETURN
6190 '
6200 '
6210 '*****
6220 '* Unterprogramm zur Fehlerbehandlung *
6230 '*****
6240 '
6250 CLS : LOCATE 12, 10
6260 PRINT "Ausgabegerät ist nicht in Ordnung -"
6270 LOCATE 12, 45: PRINT " bitte überprüfen !"
6280 SOUND 2000, 3
6290 LOCATE 14, 10: PRINT "Taste drücken !"
6300 GOSUB 4360: GOSUB 6380
6310 RESUME 3440
6320 '
6330 '
6340 '*****
6350 '* Unterprogramm zur Tastenabfrage *
6360 '*****
6370 '
6380 LET A$ = INKEY$
6390 WHILE A$ = "": LET A$ = INKEY$: WEND: RETURN
6400 '
6410 '
6420 '*****
6430 '*****

```

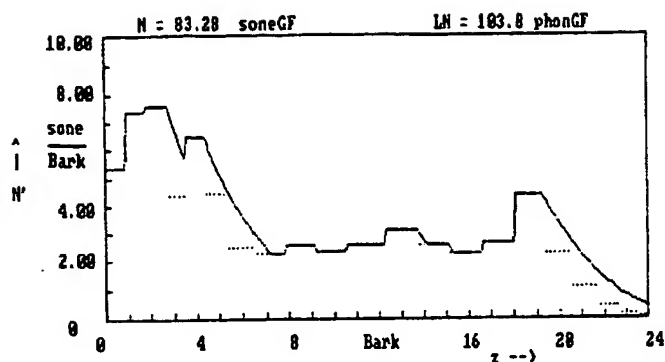


Bild A.1. Lautheits-Tonheits-Muster für das in der Norm angeführte Geräusch-Beispiel

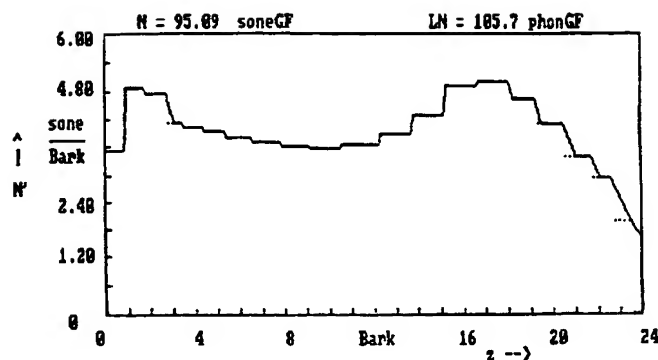


Bild A.3. Beispiel für das Lautheits-Tonheits-Muster für ein Rosa Rauschen

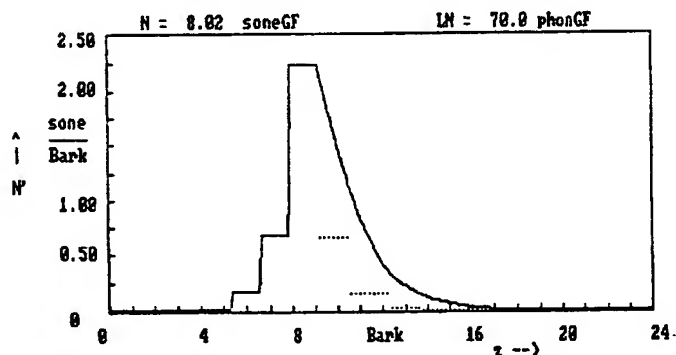


Bild A.2. Beispiel für das Lautheits-Tonheits-Muster für einen Einzelton

Das Beispiel in Bild A.3 zeigt das Lautheits-Tonheits-Muster für ein Rosa Rauschen mit einem für alle Terzbänder f_T konstanten Terzpegel $L_T = 78$ dB. Für die Lautheit dieses Breitbandrauschens ergibt das Rechenprogramm $N_{GF} = 95,09$ sone, für den Lautstärkepegel $L_{NGF} = 105,7$ phon. Zum Vergleich: der A-bewertete Schallpegel beträgt in diesem Beispiel $L_A = 90$ dB, also etwa 15 dB weniger als der Lautstärkepegel.

Das Beispiel in Bild A.2 zeigt das Lautheits-Tonheits-Muster für einen Einzelton der Frequenz $f = 1$ kHz und mit dem Terzpegel $L_T = 70$ dB. Die Darstellung erfolgt als spezifische Lautheit N' in sone/Bark über der Frequenzgruppenskala. Diese Skala der Tonheit z ist in der Einheit Bark unterteilt; jede der 24 Frequenzgruppen hat die Breite 1 Bark. Der Eingabe in das Rechenprogramm liegt eine Terzpegelanalyse zugrunde; es wurden daher auch noch für $f_T < 1$ kHz und $f_T > 1$ kHz die um eine typische Nebendämpfung von 20 dB vermindert angezeigten Terzpegel eingegeben. Sie werden als spezifische Lautheit N' dargestellt, liefern aber für < 1 kHz nur einen geringen Beitrag und werden für $f_T > 1$ kHz von der Flankenlautheit verdeckt. Für die Lautheit des Einzeltons ergibt sich $N_{GF} = 8,02$ sone und für den Lautstärkepegel $L_{NGF} = 70,0$ phon.

Zitierte Normen und andere Unterlagen

- DIN 1318 Lautstärkepegel; Begriffe, Meßverfahren
- DIN 45 630 Teil 1 Grundlagen der Schallmessung; Physikalische und subjektive Größen von Schall
- Normen der Reihe
- DIN 45 635 Geräuschmessung an Maschinen; Luftschallemission, Hüllflächen-Verfahren
- DIN 45 645 Teil 1 Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für Geräuschimmissionen
- DIN 45 645 Teil 2 Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für Geräuschimmissionen; Geräuschimmissionen am Arbeitsplatz
- DIN 45 652 Terzfilter für elektroakustische Messungen
- DIN IEC 651 Schallpegelmesser
- DIN IEC 804 Integrierende mittelwertbildende Schallpegelmesser, Identisch mit IEC 804 Ausgabe 1985
- ISO 532 – 1975 Acoustics – Method for calculating loudness level
- Zwicker, E.: Verfahren zur Berechnung der Lautstärke, *Acustica* 10 (1960) S. 304
- Zwicker, E.: Subdivision of the Audible Frequency Range into Critical Bands (Frequenzgruppen). *Journal of Acoust. Soc. Amer.* 33 (1961) S. 248
- Zwicker, E.: What is a meaningful value for quantifying noise reduction? *Proc. inter-noise '85*, Vol. I, 47–56.
- Eine 5.25" oder 3.5"-Diskette mit dem im Anhang A aufgelisteten Programm sowie einem Plotprogramm zur Darstellung der Lautheits-Tonheits-Muster ist erhältlich:
- Institut für Elektroakustik, TU München, Arcisstraße 21, D-8000 München 2

Frühere Ausgaben

DIN 45 631: 10.67x

Änderungen

Gegenüber der Ausgabe Oktober 1967x wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Ein Rechenprogramm zur Vereinfachung des Berechnungsverfahrens wurde als Anhang A aufgenommen.
- Der Abschnitt 4 wurde durch Tabelle 1 zur Bewertung der Terzpegel für Mittenfrequenzen f_T unter 250 Hz ergänzt.

Erläuterungen

Allgemein: Diese Norm steht sachlich im Einklang mit Sektion B der ISO-Empfehlung ISO 532 – „Method for calculating loudness level“ – „Méthode de calcul du niveau d'isononie“ – „Verfahren für die Berechnung des Lautstärkepegels“.

Zu Abschnitt 2.1

Das Verfahren beruht auf Untersuchungen von E. Zwicker über das Zustandekommen der Lautheitsempfindung (siehe Schrifttum).

Zu Abschnitt 2.2

In geschlossenen Räumen kann ein angenähert frontaler Einfall angenommen werden, wenn der Schall von einer kleinen Schallquelle abgestrahlt wird, die sich dicht vor dem Beobachter befindet.

Im diffusen Schallfeld trifft der Schall aus allen Richtungen mit gleicher Intensität auf das Ohr des Beobachters. Diese Bedingung ist in einem gewöhnlichen Raum angenähert erfüllt, wenn die Nachhallzeit größer als 1 s ist. Das Schallspektrum muß in

allen Fällen in Abständen r von der Schallquelle gemessen werden, die größer als der Grenzradius $r_{gr} = \sqrt{\frac{A}{50}}$ sind.

A ist die äquivalente Absorptionsfläche des Raumes (siehe DIN 52 212, Bauakustische Prüfungen, Bestimmung des Schallabsorptionsgrades im Hallraum).

Die Terzpegel müssen mit einem Mikrophon gemessen werden, das für das jeweils vorhandene Schallfeld kalibriert ist.

Internationale Patentklassifikation

G 01 H 3/00

BEST AVAILABLE COPY